

УДК 622.235

*М.Г. Мустафин***ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО  
ЗАБОЯ НА ДИНАМИКУ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД  
КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

**В**опрос об учете скорости подвигания очистного забоя при решении широкого круга практических задач геомеханики поднимался неоднократно [1-7].

Роль скорости еще в середине прошлого века образно показана известным немецким маркшейдером Ролленсманном: «если из-под предмета мгновенно вынуть лист бумаги, то предмет (сооружение) останется на месте». Важность решения этого вопроса подчеркивалась С.Г. Авершиным, им также отмечалось, что вопрос о роли скорости подвигания очистного забоя и скорости сдвижений пород остается почти не затронутым в науке о сдвижении горных пород [1].

В последние годы разработка угольных пластов на шахтах России характеризуется применением интенсивных технологий с существенным увеличением нагрузки на отдельный очистной забой и, соответственно, скорости его подвигания. Если 15–20 лет назад скорости подвигания очистных забоев редко превышали 100 м/мес, то в настоящее время они достигли 250 м/мес и более. При нынешних нагрузках на механизированные комплексы, которые в отдельные сутки доходят до 20000 т, можно ожидать в ближайшей перспективе скоростей подвигания очистных забоев 400–500 м/мес.

Изучение процесса сдвижения пород при горных разработках всегда было чрезвычайно важным направлением в геомеханике. Знание его параметров определяет общую картину поведения массива горных пород и качество решений не только для объектов на земной поверхности, но и в таких вопросах, как управление горным давлением, эффективное поддержание и охрана подземных выработок, прогноз и предотвращение динамических явлений, определение гидрогеологических условий и т.д. Безусловно, справедливо и обратное: совершенствование методик в каждом из перечисленных направлений, пополняет и уточняет наши представления о процессе сдвижения пород.

Об актуальности дальнейшего, более углубленного изучения процесса сдвижения пород с учетом высоких скоростей подвигания очистных забоев, во многом свидетельствует статистика Ростехнадзора по аварийности на шахтах. Так, в 2004 году внезапное обрушение пород кровли по числу проявлений значительно опередило такие грозные динамические явления, как горные удары (один в 2004 г.) и выбросы угля (два в 2004 г.).

Всем известна авария, случившаяся 10 апреля 2004 г. на шахте «Тайжина» ОАО ОУК «Южкузбассуголь», унесшая жизни 47 человек. Правительственная комиссия установила, что главной ее

причиной явилось внезапное массовое обрушение пород основной кровли в выработанном пространстве лавы 1-1-5-5...».

Многолетними наблюдениями за сдвижением земной поверхности при подземных разработках установлено [8], что с увеличением скорости подвигания очистного забоя уменьшается общая продолжительность процесса сдвижения, которая варьирует от нескольких месяцев до единиц годов (без учета различных аномалий).

Очевидно, что можно управлять как процессом сдвижения пород, так и нагрузками на краевые части пласта путем изменения скорости подвигания очистной выработки. При этом, когда скорости подвигания очистного забоя и разрушения подрабатываемого массива пород соизмеримы, т. е. при каждом условном шаге подвигания, полностью (с учетом реологических факторов) реализуется процесс разрушения массива, то можно говорить об отсутствии влияния в этих условиях скорости подвигания очистного забоя на конечные деформации в массиве и на земной поверхности, а также на нагрузки в краевых частях угольного пласта. Надо заметить, что такие величины скорости подвигания очистных забоев, в значительной мере, отвечают периоду до 90-х годов прошлого века (с этим связано небольшое количество публикаций по этому вопросу). Но при высоких скоростях подвигания очистного забоя, происходит уменьшение общей продолжительности процесса сдвижения [7, 8] и, соответственно, изменение параметров сдвижения горных пород. При этом в ряде случаев изучение общей продолжительности процесса сдвижения земной поверхности показывают, что при малых скоростях разрушение пород происходит, как бы, более детально с образованием большего чис-

ла новых плоскостей сдвигов (разрушений) на всей площади подработки. Естественно, при этом требуется больше времени на затухание процесса.

Понятно, что одна из главных ролей в этом процессе принадлежит прочности пород. Причем, ввиду того обстоятельства, что речь идет об относительно продолжительных периодах нагружения пород, при котором реализуются реологические процессы, в расчетах следует применять характеристику длительной прочности пород. Тогда, сравнительную оценку влияния скорости подвигания очистного забоя на напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород, можно получить путем моделирования: варьируя величинами длительной прочности пород.

Изучение процесса сдвижения с учетом временного фактора требует применения современных средств оценки НДС массива горных пород. Во ВНИМИ разработан метод компьютерного, численного моделирования нелинейного поведения массива горных пород, нарушенного горными выработками, основанный на применении компьютерной технологии по реализации метода конечных элементов (МКЭ, программные комплексы «НЕДРА» [9-11]).

Ниже демонстрируются примеры, позволяющие увидеть различие процесса деформирования пород при разных скоростях движения очистного забоя.

Структурная и конечно-элементная модели представлены на рис. 1.

В структурной модели показаны ее размеры и упругие параметры. При этом прочности пород составляли следующие значения: сцепление наносов 2 МПа; алевролитов (аргиллитов) 3-5 МПа; уголь 2 МПа. Предел длительной прочности принимали от значений мгновенной прочности с

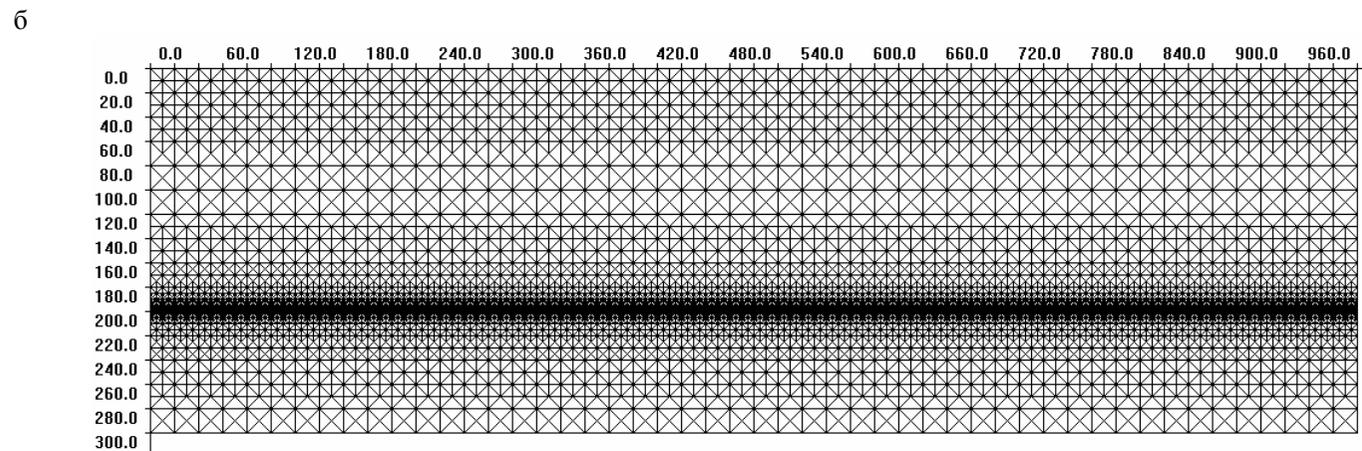
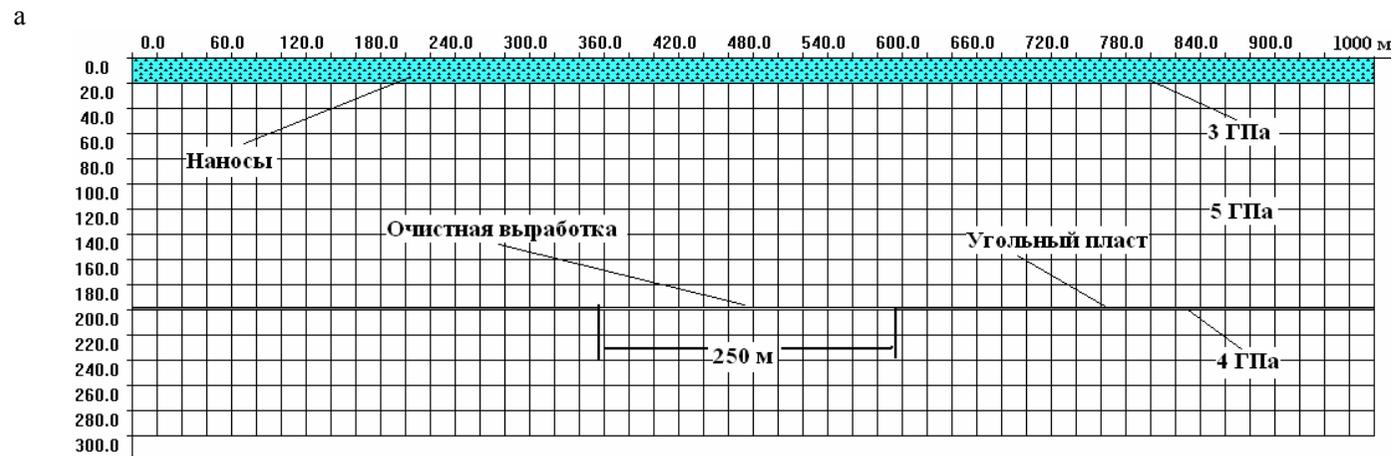
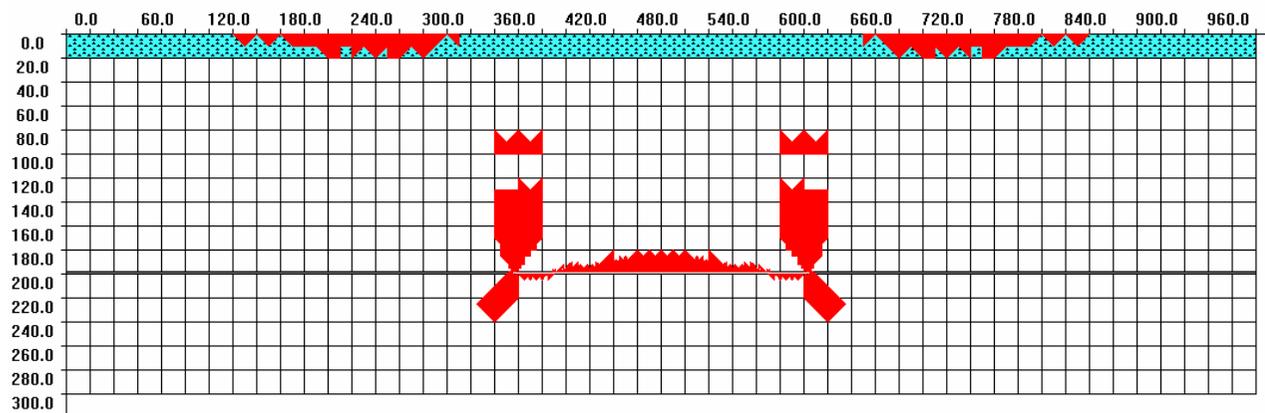
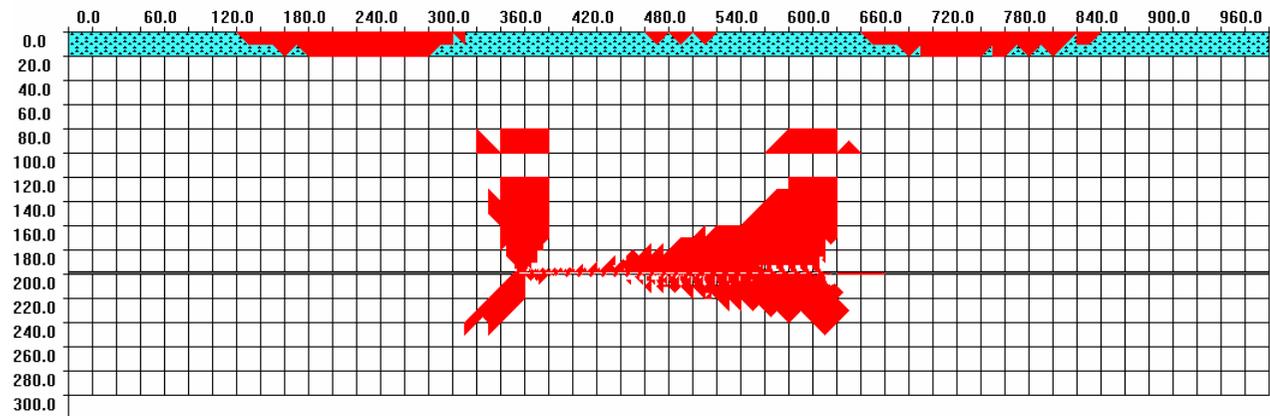


Рис. 1. Структурная (а) и конечно-элементная (б) модели



*Рис. 2. Вязкоупругая статическая задача. Картина разрушений пород*



*Рис. 3. Картина разрушений пород при отходе лавы от монтажной камеры на 250 м (скорость 1 м/сут)*

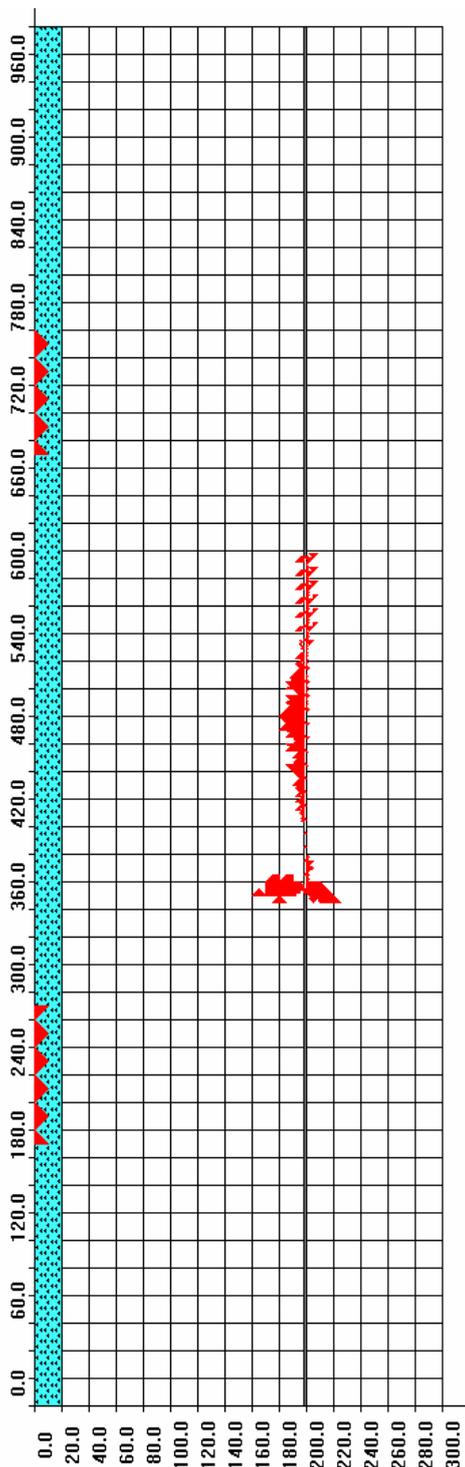


Рис. 4. Картины разрушений пород при отходе лавы от монтажной камеры на 250 м (скорость 10 м/сут)

коэффициентом уменьшения от 1,5 до 2,0. Использовалась конечно-элементная модель, содержащая около 20000 элементов.

Для наглядного сравнения показаны 3 варианта решений задачи: вязкоупругопластическая статическая и динамические: со скоростью очистного забоя 1 м/сут и 10 м/сут.

Это решение можно считать для отработанной лавы, в сечении перпендикулярном направлению ее движения. Время процесса сдвижения пород около 1 месяца. Из рассмотрения решения видно, что зона разрушений имеет симметричный характер (рис. 2).

Вариант 2: Скорость 1 м /сут.

Теперь продемонстрируем наиболее интересное решение, отражающее динамику процесса изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород при движении очистного забоя.

Видно нарастание (увеличение) зоны разрушений (движение лавы слева направо). Картина разрушений явно отличается от приведенной выше, при этом она несимметрична (рис. 3).

Вариант: Скорость 10 м/сут.

В следующем варианте демонстрируется поведение массива горных пород при скорости 10 м/сут. Надо заметить, что такие скорости уже являются нормой для многих шахт.

Выполненное моделирование отражает условия плоской задачи, тем не менее, можно сделать следующие выводы. При высокой скорости призабойная область (породы кровли, см. рис. 4) может не претерпевать значительных разрушений, относительно случаев, когда лава движется с малой скоростью. В

этом случае в краевой части накапливается большая энергия упругих деформаций, способная реализоваться при разрушении пород с динамическим эффектом. Это может произойти

и при остановке лавы, отрабатывавшейся с большой скоростью. Именно такие случаи наблюдаются в последнее время на шахтах Кузбасса.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авершин С.Г.* Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947.
2. *Баклашов И.В., Картозия Б.А.* Механика горных пород. – М.: Недра, 1975.
3. *Батугин С.А.* Определение деформаций горных пород при движущемся очистном забое. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, – Прокопьевск, 1963. (СФ ВНИМИ).
4. *Муллер Р.А.* Определение мульды сдвижения и скоростей деформаций земной поверхности при движущемся забое – В кн.: Сдвигение горных пород (Сборник № 98, Труды ВНИМИ). Л., ВНИМИ, 1973. – С. 13–27.
5. *Петухов И.А.* Основные направления исследований в области сдвижения горных пород – В кн.: Сдвигение горных пород (Сборник № 108, Труды ВНИМИ). Л., ВНИМИ, 1978. – С. 3–9.
6. *Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках.* Под общей ред. В. А. Букринского. М. Недра, 1984.
7. *Сдвигение и разрушение горных пород / С. Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров; [Отв. ред. К.Н. Трубецкой].* – М.: Наука, 2005.
8. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях,* С-Петербург, 1998.
9. *Мустафин М.Г.* Моделирование геомеханического состояния пород, вмещающих горную выработку. – СПб.: СПбГА-СУ, 1999.
10. *Мустафин М.Г., Петухов И.М.* Об основных факторах, обуславливающих возникновение горных ударов с разрушением почвы выработок. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГУ, 2002. – № 11. – С. 17–22.
11. *Мустафин М.Г.* Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на изменение динамики нагружения краевых частей выработки и характер сдвижения подработанного массива горных пород. Рабочее совещание. СПб, ВНИМИ, 2006. **ИДБ**

#### Коротко об авторах

*Мустафин М.Г.* – доктор технических наук, зав. лабораторией, ОАО «ВНИМИ».

Статья представлена Научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела.

